

РСТ

ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
Международное бюро



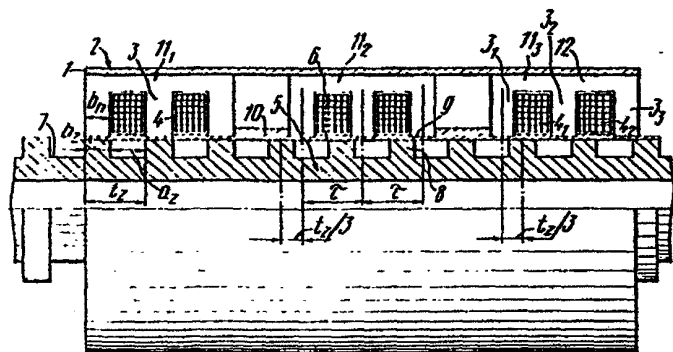
МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ
С ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(51) Международная классификация изобретения ³ : H02K 41/02, 37/00	A1	(11) Номер международной публикации: WO 82/02628 (43) Дата международной публикации: 5 августа 1982 (05.08.82)
<p>(21) Номер международной заявки: РСТ/SU81/00011</p> <p>(22) Дата международной подачи: 28 января 1981 (28.01.81)</p> <p>(71) Заявитель (для всех указанных государств, кроме US): ЗАПОРОЖСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ [SU/SU]; Запорожье 330063, ул. Жуковского, д. 64 (SU) [ZAPOROZHISKY MASHINOSTROITEL'NY INSTITUT, Zaporozhe (SU)].</p> <p>(72) Изобретатели, и</p> <p>(75) Изобретатели/Заявители (только для US): АФОН-ИН Анатолий Алексеевич [SU/SU]; Киев 252111, ул. Щербакова, д. 72, кв. 92 (SU) [AFONIN, Anatoly Alekseevich, Kiev (SU)]. БОНДАРЕНКО Валерий Иванович [SU/SU]; Запорожье 330104, ул. Сытова, д. 17, кв. 63 (SU) [BONDARENKO, Valery Ivanovich, Zaporozhe (SU)]. BOBK Анатолий Кузьмич</p>		<p>[SU/SU]; Киев 252086, ул. Демьяна Коротченко, д. 41в, кв. 12 (SU) [VOVK, Anatoly Kuzmich, Kiev (SU)]. САВЕЛЬЕВ Василий Григорьевич [SU/SU]; Запорожье 330058, ул. Космическая, д. 130а, кв. 110 (SU) [SAVELEV, Vasily Grigorevich, Zaporozhe (SU)]. ДУДАРЕНКО Зоя Ивановна [SU/SU]; Запорожье 330054, ул. Украинская, д. 8, кв. 114 (SU) [DUDARENKO, Zoya Ivanovna, Zaporozhe (SU)].</p> <p>(74) Агент: ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПАЛАТА СССР [SU/SU]; Москва 103012, ул. Куйбышева, д. 5/2 (SU) [USSR CHAMBER OF COMMERCE AND INDUSTRY, Moscow (SU)].</p> <p>(81) Указанные государства: DE, GB, JP, US</p> <p>Опубликована С отчетом о международном поиске</p>

(54) Title: LINEAR ELECTROMAGNETIC MOTOR

(54) Название изобретения: ЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

(57) Abstract: A linear electromagnetic motor comprises a tubular casing (1) on which is fixed a stator (2) with annular magnetic poles (3). Exciting windings (4) are placed between the poles (3) which are oriented with their shoes (9) to an armature (5). The armature (5) is mounted movably in the longitudinal direction and is shaped as a cylindric rod (7) with teeth (8) evenly spaced along its length. The stator (2) is divided by non-magnetic parts (10) into at least three sections (11₁, 11₂, 11₃) each of them having three annular magnetic poles (3₁, 3₂, 3₃) comprised in the magnetic circuit. The exciting windings (4) are located in the windows of the magnetic circuit and are connected in such a way that their magnetic fluxes are directed concordantly in the middle pole (3₂) the pole pitch τ of each section (11) being equal to the pitch t_z of the teeth (8) of the armature (5). The width of the teeth (8) of the armature (5) is equal to the width of the pole shoes (9) whereas the pole shoes (9) of each section (11) are shifted in relation to the teeth (8) of the armature (5) in the longitudinal direction by the value equal to $(\frac{N-1}{m})t_z$, where N is the number of section (11) following the order of its connection and m is the number of the sections. The linear electromagnetic motor can be most effectively used in the electric drives of robots and manipulators working in the linear coordinate system.



(57) Аннотация: Двигатель содержит трубчатый корпус (1), на котором жестко закреплен статор (2) с кольцевыми магнитными полюсами (3). Между полюсами (3) расположены обмотки (4) возбуждения, причем полюса своими концевиками (9) обращены к якорю (5). Якорь (5) выполнен с возможностью продольного перемещения и представляет собой цилиндрический стержень (7) с равномерно расположенными по его длине зубцами (8). Статор (2) разделен немагнитными участками (10) на по меньшей мере три секции (11₁, 11₂, 11₃), каждая из которых имеет три кольцевых магнитных полюса (3₁, 3₂, 3₃), входящих в состав магнитопровода. В окнах магнитопровода расположены обмотки (4) возбуждения, включенные таким образом, что создаваемые ими магнитные потоки направлены согласно в среднем полюсе (3₂), причем полюсное деление τ каждой секции (11) равно шагу t_z зубцов (8) якоря (5). Ширина зубцов (8) якоря (5) выбрана равной ширине полюсных концевиков (9), а полюсные концевики (9) каждой секции (11) смещены относительно зубцов (8) якоря (5) в продольном направлении на величину $(\frac{N-1}{m})t_z$.

ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Коды, используемые для обозначения стран-членов РСТ на титульных листах брошюр,
в которых публикуются международные заявки в соответствии с РСТ:

AT	Австрия	LI	Лихтенштейн
AU	Австралия	LU	Люксембург
BR	Бразилия	MC	Монако
CF	Центральноафриканская Республика	MG	Мадагаскар
CG	Конго	MW	Малави
CH	Швейцария	NL	Нидерланды
CM	Камерун	NO	Норвегия
DE	Федеративная Республика Германии	RO	Румыния
DK	Дания	SE	Швеция
FR	Франция	SN	Сенегал
GA	Габон	SU	Советский Союз
GB	Великобритания	TD	Чад
HU	Венгрия	TG	Того
JP	Япония	US	Соединенные Штаты Америки
KP	Корейская Народно-Демократическая Республика		

ЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Область техники

Настоящее изобретение относится к области электро-
машиностроения и, в частности, касается линейных электро-
5 магнитных двигателей.

Предшествующий уровень техники

Линейные двигатели широко известны и используются
в различных отраслях промышленности и на транспорте.
10 Линейные двигатели обладают рядом достоинств, к основ-
ному из которых относится практически полное устранение
из системы электропривода промежуточных механических и
других передач для преобразования вращательного движе-
ния в линейное. Следует отметить также бесшумность
15 этого двигателя в работе, отсутствие проблемы загрязне-
ния окружающей среды, высокую надежность, технологич-
ность, дешевизну конструкции, возможность работы в ус-
ловиях, требующих высокой степени герметизации, сравни-
тельно простое обслуживание и др.

Широкие функциональные возможности линейного элект-
20 ропривода позволяют в полной мере использовать существую-
щие электронные разомкнутые и замкнутые системы управле-
ния для реализации дискретного и непрерывного движения с
точным позиционированием и слежением, обеспечением ос-
тановки, фиксации и реверса, заданных в пределах рабоче-
25 го хода точках, а также программного управления движе-
нием.

Так, известен линейный электромагнитный двигатель
для прямолинейного перемещения стержневых или трубчатых
конструктивных элементов, в частности, регулирующих или
30 отключающих стержней ядерного реактора /см.патент ФРГ
№ 1286638/. Этот двигатель содержит трубчатый корпус,
на котором на одинаковом расстоянии один от другого ус-
тановлены магнитные полюса и между ними, независимо од-
на от другой, взаимные обмотки возбуждения, из которых
35 каждые две соседние создают встречно направленные магнит-
ные поля. Внутри корпуса с возможностью продольного пе-
ремещения помещен якорь, представляющий собой цилиндри-

-2-

не зубцами, имеющими длину, большую длины магнитных полюсов. Шаг магнитных полюсов и шаг зубцов якоря выбраны различными так, что в любом положении стержня против магнитных полюсов или группы n магнитных полюсов располагаются $n \pm 1$ зубцов якоря. Ширина магнитных полюсов равна сумме ширины одного зубца на якоре и двойной толщины стенки, которую корпус может иметь на наиболее тонких, находящихся между магнитными полюсами участках, выполненных с минимальной толщиной стенок.

Известный двигатель имеет статор с распределенной магнитной системой, состоящей из ряда магнитных полюсов, образующих параллельно включенные магнитные цепочки. При этом для создания полезного усилия используется только небольшая часть рабочего пространства двигателя.

Действительно, магнитный поток статора разветвляется по параллельно включенным участкам магнитной цепи, смежным по отношению к основному полюсу, расположенному между встречно включенными обмотками. Электромагнитные силы между каждым из полюсов и зубцами якоря, по которым протекает магнитный поток, имеют различные продольные направления и в определенной степени компенсируют друг друга, уменьшая тем самым результирующую составляющую тягового усилия двигателя. Таким образом, в электромеханическом преобразовании энергии полезно участвует только небольшая часть энергии магнитного поля, создаваемой обмотками возбуждения. Наличие параллельных магнитных цепей увеличивает также магнитное рассеяние двигателя, уменьшая тем самым разность магнитных проводимостей по продольной и поперечной осям, величина которой пропорциональна тяговому усилию двигателя. При этом плохо используются активные материалы двигателя.

В основу изобретения поставлена задача создать такой линейный электромагнитный двигатель, в котором путем концентрации магнитного поля в рабочих зонах якоря удалось бы повысить тяговые усилия двигателя.

Раскрытие изобретения

Поставленная задача решена тем, что в линейном

-3-

на котором жестко закреплен статор с кольцевыми магнитными полюсами, между которыми расположены обмотки возбуждения, причем полюса своими концевиками обращены к якору, выполненному с возможностью продольного перемещения и представляющему собой цилиндрический стержень с равномерно распределенными по его длине зубцами, согласно изобретению, статор разделен немагнитными участками на по меньшей мере три секции, каждая из которых имеет три кольцевых магнитных полюса, входящих в состав магнитопровода, в окнах которого расположены обмотки возбуждения, включенные таким образом, что создаваемые ими магнитные потоки направлены согласно в среднем полюсе секции, причем полюсное деление τ каждой секции равно шагу t_z зубцов якоря, ширина которых, в свою очередь, равна ширине полюсных концевиков, а полюсные концевики каждой секции смещены в продольном направлении относительно зубцов якоря на величину $\left[\frac{N-1}{m} \right] t_z$, где N - номер секции по порядку включения, m - количество секций.

Разделение статора немагнитными участками на отдельные, изолированные в магнитном отношении, секции так, как это заявлено, позволяет исключить разнонаправленность продольных составляющих тягового усилия в рабочих зонах якоря. Магнитные поля рассеяния уменьшаются за счет того, что в предлагаемой конструкции удалось увеличить магнитное сопротивление для магнитного потока в параллельных основной магнитной цепи участках. Таким образом, благодаря возрастанию концентрации магнитного потока в рабочей зоне полюсные концевики секций - зубцы якоря, а также увеличению разности между магнитными проводимостями по продольной и поперечной осям двигателя, в линейном электромагнитном двигателе, согласно изобретению, достигается увеличение его тягового усилия.

Целесообразно, чтобы в двигателе согласно изобретению внутренние боковые поверхности крайних полюсов каждой секции были выполнены коническими, при этом средний полюс каждой секции имел одинаковую в радиальном направ-

-4-

причем меньшее основание этой трапеции было обращено в сторону полюсных наконечников и соответствовало ширине зубца.

5 Такое выполнение патентуемого двигателя обеспечивает расширение обмоточного пространства и концентрацию магнитного потока /его "сжатие"/ в среднем полюсе секции за счет того, что площадь поперечного сечения для магнитного потока уменьшается с уменьшением радиуса среднего полюса.

10 Возможно, чтобы двигатель согласно изобретению имел три секции, являющиеся его фазами, причем ширина немагнитного участка между ними была равна $1/3$ ширины зубца, которая, в свою очередь, была равна $1/2 \tau$.

15 Возможно еще, чтобы двигатель согласно изобретению имел четыре секции, являющиеся его фазами, причем ширина немагнитного участка между ними была равна $1/2$ ширины зубца, равной, в свою очередь, $1/2 \tau$.

20 Кроме того, желательно, чтобы двигатель согласно изобретению имел три секции, являющиеся его фазами, причем ширина немагнитных участков между ними была равна ширине зубца, равной, в свою очередь, $1/3 \tau$.

25 Целесообразно также, чтобы двигатель согласно изобретению имел четыре секции, являющиеся его фазами и образующие две пары, причем ширина немагнитного участка между этими парами была равна удвоенной ширине цилиндрической части зубца, а ширина немагнитного участка между секциями в каждой паре была равна ширине зубца, равной, в свою очередь, $1/4 \tau$.

30 Предлагаемые трехфазные и четырехфазные линейные электромагнитные двигатели позволяют получить значительные линейные перемещения исполнительного механизма при сравнительно небольших габаритах статора.

Краткое описание чертежей

35 В дальнейшем сущность изобретения поясняется подробным описанием примеров осуществления изобретения со ссылками на чертежи, на которых:

фиг. I изображает общий вид линейного электромагнитного двигателя.

-5-

фиг.2. - вариант выполнения секции статора двигателя согласно изобретению: а - общий вид в разрезе;

б - вид по стрелке А;

5 фиг.3,4 - различные модификации линейного электромагнитного двигателя, имеющего три секции;

фиг.5,6 - различные модификации линейного электромагнитного двигателя, имеющего четыре секции;

фиг.7 - график зависимостей удельного тягового усилия от различных параметров;

10 фиг.8 - графики, поясняющие алгоритм работы линейного электромагнитного двигателя, имеющего три секции, при различных видах коммутации;

15 фиг.9 - идеализированные характеристики статического тягового усилия линейного электромагнитного двигателя, имеющего три секции, при различных видах коммутации;

фиг.10 - графики, поясняющие алгоритм работы линейного электромагнитного двигателя, имеющего четыре секции, при различных видах коммутации.

Лучший вариант осуществления изобретения

20 Патентуемый двигатель, как он представлен на фиг.1, содержит трубчатый корпус 1, на котором жестко закреплен статор 2 с кольцевыми магнитными полюсами 3, между которыми расположены выключаемые обмотки 4 возбуждения. Кроме того, он имеет якорь 5, выполненный с возможностью

25 продольного перемещения, например, как это показано на фиг.1, по направляющим 6. Якорь представляет собой цилиндрический стержень 7 с равномерно распределенными по его длине зубцами 8. При этом полюса 3 обращены своими наконечниками 9 к зубцам 8 якоря. Согласно изобретению, статор 2 разделен немагнитными участками 10 на по

30 меньшей мере три секции II, а именно: II₁, II₂ и II₃ /отметим, что порядок расположения секций на чертежах выбран слева направо/.

35 В варианте выполнения участок 10 представляет собой кольцевые прокладки, изготовленные из неферромагнитного материала. Участки 10 могут быть выполнены также в виде воздушных зазоров.

-6-

имеет три полюса $3_I, 3_2, 3_3$ / 3_I и 3_3 - крайние, а 3_2 - средний/, соединенных ярмом 12 и образующих магнитопровод. Пара обмоток $4_I, 4_2$, расположенных между полюсами $3_I, 3_2, 3_3$ магнитопровода, включены таким образом, что создаваемые ими магнитные потоки согласно направлены в среднем полюсе 3_2 секции II.

Секции II размещены одна относительно другой так, что полюсные наконечники 9 каждой из них смещены в продольном направлении по отношению к зубцам 8 якоря 5 на величину $\left[\frac{N-1}{m} \right] t_z$, где t_z - шаг зубцов якоря,

N - номер секции по порядку включения, а m - количество секций статора II.

Как отмечалось выше, для лучшего понимания секции на чертежах, в основном, пронумерованы в порядке расположения, а не включения.

В патентуемом двигателе полюсное деление τ равно шагу t_z зубцов 8 якоря, ширина которых выбрана равной ширине 6 полюсных наконечников 9.

Отметим, что m /количество секций II/ в линейном электромагнитном двигателе согласно изобретению определяет фазность этого двигателя. Так, на фиг. I представлен трехфазный линейный электромагнитный двигатель.

/Отметим, что в данном случае при последовательности расположения слева направо секций II_I-II₂-II₃ движение вправо обеспечивается включением секций в таком же порядке II_I - II₂ - II₃, т.е. порядок расположения секций по чертежу и порядок их включения совпадают/.

Разделение статора немагнитными участками на отдельные, изолированные в магнитном отношении, секции позволяет за счет уменьшения потоков рассеяния и концентрации магнитного потока в рабочей области повысить тяговые усилия двигателя.

В вариантах выполнения патентуемого двигателя предусмотрена конструкция двигателя, фрагмент которой показан на фиг. 2. Внутренние боковые поверхности $I3_I$ и $I3_2$ соответствующих полюсов 3_I и 3_3 секции II выполнены коническими. При этом средний полюс 3_2 имеет одинаковую

-7-

зубец 8 якоря 5 имеет трапециевидальное сечение, причем меньшее основание трапеции обращено в сторону наконечников 9 и соответствует ширине указанного зубца 8. Такое выполнение двигателя согласно изобретению обеспечивает расширение обмоточного пространства и концентрацию магнитного потока /"сжатие"/ в среднем полюсе 3_2 секции II за счет того, что площадь поперечного сечения для магнитного потока уменьшается с уменьшением радиуса полюса 3_2 .

Отметим, что представленная на фиг.2 конструкция показывает один из возможных вариантов изготовления патентуемого двигателя из массивного /нешихтованного/ ферромагнитного материала. В секции II статора 2 и на якоре 5 такой конструкции поперек линий тока выполнены продольные пазы I4, обеспечивающие уменьшение потерь на вихревые токи.

Следует учитывать, что описанные конкретные примеры осуществления изобретения допускают различные изменения и дополнения, очевидные специалистам в данной области техники.

На фиг.3 и 5 соответственно приведены трехфазный и четырехфазный линейные электромагнитные двигатели с якорем 5, у которого ширина зубца 8 равна $1/2 \tau$, т.е. ширине α_z паза якоря. При этом для трехфазного двигателя согласно изобретению ширина немагнитного участка I0 /фиг.3/ между секциями II₁ и II₂ /фиг.3/, а также между секциями II₂ и II₃ равна $1/3$ ширины зубца 8, т.е. $b_z/3$, а для четырехфазного двигателя согласно изобретению ширина немагнитного участка между секциями II₁ и II₂ /фиг.5/, II₂ и II₃, а также II₃ и II₄ равна $1/2$ ширины зубца 8, т.е. $b_z/2$.

Отметим, что, например, для движения вправо порядка включения секций для двигателей, представленных на фиг.3 и 5, следующие I-3-2 и I-3-2-4 соответственно. В этом случае каждая последующая по порядку включения секция смещена по отношению к зубцам якоря на величину $\frac{t_z}{m}$ по сравнению с положением полюсных наконечников 9

-8-

дам 8 якоря 5. Так, на фиг.3 секция Π_3 смещена на $\frac{t_x}{3}$ относительно положения секции Π_I , а на фиг.5 - секция Π_4 смещена на $\frac{t_x}{4}$ относительно секции Π_I . Такое смещение секций статора относительно якоря аналогично широко распространенному и положительно зарекомендовавшему себя смещению полюсов смежных фаз шаговых двигателей вращательного движения, при котором обеспечивается устойчивый режим работы. На фиг.4 в качестве одной из модификаций патентуемого двигателя приведен трехфазный линейный электромагнитный двигатель, у которого с целью повышения тягового усилия и к.п.д. ширина зубца якоря равна $1/3$ зубцового шага, т.е. $b_x = \frac{t_x}{3}$, а ширина немагнитного участка 10 между секциями Π равна ширине зубца 8.

За счет увеличения отношения ширины паза якоря к ширине зубца возрастает разность магнитных проводимостей по продольной и поперечным осям двигателя, а следовательно, возрастает и его тяговое усилие. Это видно из графиков /фиг.7/ зависимости удельного усилия, действующего в направлении перемещения якоря и приходящегося на 1 см^2 активной поверхности зубца, от параметров δ и $\alpha = \frac{a_x}{b_x}$, где a_x - ширина паза якоря /5/, b_x - ширина зубца 8, δ - величина зазора между якорем /5/ и наконечниками /9/. Эти зависимости получены экспериментально и приведены на фиг.7 для различных величин немагнитного зазора δ .

На фиг.7 представлены соответственно: кривая

$$\begin{aligned} a - \delta = 0,9 \text{ мм}, & \quad b = 0,7 \text{ мм}, & c - \delta = 0,5 \text{ мм}, \\ d - \delta = 0,3 \text{ мм}, & \quad e - \delta = 0,2 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Форма конических цилиндров якоря выбирается исходя из требований к зависимости тягового усилия двигателя от рассогласования зубцов якоря и полюсов статорной секции.

На фиг.6 показан вариант выполнения четырехфазного линейного электромагнитного двигателя согласно изобретению. В этом двигателе четыре секции Π_I , Π_2 , Π_3 и Π_4 образуют две пары Π_I и Π_2 , а также Π_3 и Π_4 . При этом ширина немагнитного участка между Π_I и Π_2 , а также Π_3 и Π_4 равна удвоенной ширине зубца 2 b_x . Ширина

-9-

ширине b_x зубцов 8, которая выбрана равной, в свою очередь, $1/4 t_x$.

/Отметим, что для данной конструкции при последовательности расположения секций слева направо по чертежу

5 $\Pi_1-\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$ движение вправо обеспечивается включением обмоток секций в последовательности $\Pi_1-\Pi_3-\Pi_2-\Pi_4/$.

Предлагаемый вариант выполнения обеспечивает высокое значение тягового усилия секции, а смещение каждой последующей по порядку включения секции по отношению к положению зубцов якоря на $1/4$ зубцового шага якоря относительно предыдущей обеспечивает устойчивый режим работы двигателя и позволяет в результате за счет одновременного включения нескольких секций и выбора

10 формы скоса зубцов якоря обеспечить требуемую зависимость тягового усилия двигателя от координаты перемещения якоря.

Линейный электромагнитный двигатель согласно изобретению, представленный на фиг.4, работает следующим образом. Предположим, что в начальный момент напряжение приложено к фазе /секция Π_1 статора 2/. Прохождение тока по обмоткам, расположенным в левом и правом окнах секции Π_1 , включенным так, что создаваемые ими магнитные потоки направлены согласно в среднем полюсе, вызовет

20 появление магнитных потоков в каждой из двух половин магнитопровода секции Π_1 статора 2, которые суммируются в среднем полюсе 3₂. В результате взаимодействия магнитного поля с зубцами 8 якоря 5 последний занимает положение магнитного равновесия, указанное на рис. 4 и 8а /положение I/. В этом положении зубцы якоря устанавливаются под магнитными полюсами включенной секции Π_1 . При необходимости перемещения якоря вправо /по чертежу/ секция Π_1 отключается и, при поочередной коммутации секций, напряжение питания подается на обмотки секции Π_3 . При этом

30 под действием электромагнитных сил, действующих на зубцы якоря, находящиеся в зоне магнитных полюсов секции Π_3 , якорь перемещается на шаг и устанавливает свои зубцы

-10-

сопротивление магнитному потоку, т.е. занимает положение магнитного равновесия /положение II на фиг.8а/. При этом в зоне секции II₃ зубцы якоря занимают относительно полюсов положение, подготовленное для последующего движения в том же направлении, а в зоне секции II₂ - положение, подготовленное для реверса. Дальнейшее движение вправо осуществляется путем отключения секции II₃ и включения секции II₂ /еще один шаг - положение III на фиг.8а/ и т.д., т.е. работа двигателя при трехтактной поочередной коммутации осуществляется по следующему алгоритму II₁-II₃-II₂-II₁ /движение вправо/. При необходимости изменения направления перемещения необходимо переключать секции в обратной последовательности - по алгоритму II₁-II₂-II₃-II₁ /движение влево/. Трехтактной поочередной коммутации /рис.8а/ соответствует : идеализированная характеристика статического синхронизирующего усилия $F(x)$ /фиг.9а/, на которой точка пересечения характеристик тягового усилия F_1 и F_3 соответствующих секций II₁ и II₃ определяет предельное пусковое усилие двигателя F . Сила сопротивления движению /нагрузка/ F_H определяет статическую ошибку двигателя Δx . Если время протекания электромагнитных переходных процессов значительно меньше времени механических, то коммутации фаз соответствует мгновенное смещение на шаг статического синхронизирующего усилия из положения F_1 в положение F_3 .

Трехтактной попарной коммутации, при которой включаются одновременно две секции двигателя /на фиг.8б показаны соответствующие этой коммутации положения якоря/, соответствует характеристика статического синхронизирующего усилия, приведенная на рис.9б, а шеститактной коммутации /фиг.8в/ - характеристика на фиг.9 в. При парной коммутации в зависимости от формы кривой статического синхронизирующего усилия за счет сложения усилий двух секций можно получить различную крутизну результирующего усилия, а следовательно, улучшить устойчивость и демпфирование колебаний якоря. Шеститактная коммутация, как это видно из рис.8в-9в. позволяет умень-

-II-

шить шаг двигателя вдвое, т.е. обеспечить дробление шага за счет изменения комбинации включения секций двигателя.

В настоящем изобретении возможно использование схемы локально-замкнутого привода. В варианте выполнения эта схема включает последовательно подключенные сумматор, электронный коммутатор и двигатель. Кроме того, она имеет датчик шагов, своим входом подключенный к выходу двигателя и к одному из входов сумматора, на другой вход которого подается заданный сигнал управления. Такая схема позволяет придать новое качество патентуемому двигателю, а именно: возможность непрерывного движения. Покажем это на описанном выше примере. Выход датчика шагов включается на вход электронного коммутатора таким образом, что коммутация секций осуществляется при положении якоря в дискретных точках X_1, X_2, X_3 /фиг. 9г/. Такой закон коммутации обусловлен следующими соображениями.

Как видно из рассмотрения статических характеристик тягового усилия на участке OX_1 на якорь двигателя действует электромагнитное усилие секции II_1 , а на участке X_1X_2 - усилие, создаваемое совместно одновременно включенными секциями II_1 и II_3 . Характер усилий, создаваемых как одной секцией /например, на участках OX_1, X_2X_3, X_4X_5 и т.д./, так и двумя одновременно включенными секциями /например, на участках X_1X_2, X_3X_4, X_5X_6 и т.д./, одинаков. При этом на якорь двигателя действует результирующее усилие, имеющее постоянную составляющую и высшие гармоники, которые можно уменьшить с помощью электронного коммутатора с регулятором напряжения.

При наличии заданного сигнала управления на входе сумматора якорь двигателя начинает перемещаться под действием электромагнитных сил, создаваемых секциями, включаемых по определенному алгоритму /см. табл./.

35

Таблица						
Положение якоря	OX_1	X_1X_2	X_2X_3	X_3X_4	X_4X_5	X_5X_6

-12-

5 Включение секций происходит под действием продвигающих импульсов с датчика, и якорь двигателя постепенно разгоняется. При этом в схемах локально-замкнутого привода обеспечивается как программный разгон, так и торможение двигателя с обеспечением оптимального быстрого действия привода.

10 Работа четырехфазного линейного электромагнитного двигателя осуществляется подобным трехфазному образом и поясняется фиг. II, на которой изображены положения якоря и алгоритмы включения секций двигателя для трех видов коммутации.

Предлагаемый линейный электромагнитный двигатель имеет высокие тяговые усилия и к.п.д. двигателя.

15 Патентуемый двигатель позволяет снизить габариты; так как для его работы достаточно 3-х секций парных катушек, что снижает себестоимость изготовления и упрощает компоновку его с исполнительным механизмом.

20 Двигатель согласно изобретению обладает возможностью получения значительных линейных перемещений исполнительного механизма при сравнительно небольших габаритах статора, что особенно ценно в робототехнике.

Поскольку в описываемом линейном электромагнитном двигателе одновременно включаются несколько катушек, повышается коэффициент использования двигателя.

25 Двигатель согласно изобретению обладает высокой надежностью и характеризуется простотой обслуживания. Электронные системы управления позволяют реализовать различные динамические состояния привода с обеспечением разгона и торможения по заданной программе остановки, фиксации и реверса в произвольных дискретных точках
30 рабочего хода, обеспечение режима непрерывного движения и т.д. Двигатель бесшумен в работе, не загрязняет окружающую среду. Двигатель может иметь водопогружное и герметичное исполнение и использоваться для работы в
35 экстремальных средах.

Промышленная применимость

Наиболее эффективно линейный электромагнитный дви-

-13-

5

дах роботов и манипуляторов, работающих в прямолинейной системе координат. Кроме того, его можно использовать в технологических машинах-автоматах, кассетных загрузочных устройствах для контроля параметров микросхем, обеспечивающих перемещение по программе на заданную позицию, механизмах управления ядерных реакторов, вспомогательных транспортных устройствах автоматических линий, устройствах подачи и загрузки, графопостроителях, в медицинской технике и т.д.

- 14 -

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

5 I. Линейный электромагнитный двигатель, содержащий
трубчатый корпус, на котором жестко закреплен статор
с кольцевыми магнитными полюсами, между которыми рас-
положены обмотки возбуждения, причем полюса своими на-
конечниками обращены к якорю, выполненному с возмож-
10 ностью продольного перемещения и представляющему собой
цилиндрический стержень с равномерно распределенными
по его длине зубцами, отличающийся тем, что статор /2/
разделен немагнитными участками /10/ на по меньшей мере
три секции $/II_1, II_2, II_3/$, каждая из которых имеет три
кольцевых магнитных полюса $/3_1, 3_2, 3_3/$, входящих в состав
магнитопровода, в окнах которого расположены обмотки
15 /4/ возбуждения, включенные таким образом, что создавае-
мые ими магнитные потоки направлены согласно в среднем
полюсе $/3_2/$, причем полюсное деление τ каждой секции
/II/ равно шагу t_z зубцов /8/ якоря /5/, ширина которых
выбрана равной ширине полюсных наконечников /9/, а по-
люсные наконечники /9/ каждой секции /II/ смещены отно-
20 сительно зубцов /8/ якоря /5/ в продольном направлении
на величину $(\frac{N-1}{m}) t_z$, где N - номер секции /II/ по
порядку включения, m - количество секций /II/.

2. Двигатель по п. I, отличающийся тем, что внутренние
боковые поверхности $/13_1, 13_2/$ крайних полюсов $/3_1, 3_3/$
25 каждой секции /II/ выполнены коническими, при этом
средний полюс $/3_2/$ каждой секции /II/ имеет одинаковую
в радиальном направлении ширину, а зубец /8/ якоря /5/
имеет трапецидальное сечение, причем меньшее основание
трапеции обращено в сторону полюсных наконечников /9/
30 и соответствует ширине указанного зубца /8/.

3. Двигатель по любому из пунктов I и 2, отличаю-
щийся тем, что он имеет три секции $/II_1, II_2, II_3/$, являю-
щиеся его фазами, причем ширина немагнитного участка
/10/ между ними равна $1/3$ ширины зубца /8/, в свою оче-
35 редь, равной $1/2 \tau$.

4. Двигатель по любому из пунктов I, 2, отличающийся
тем, что он имеет четыре секции $/II_1, II_2, II_3$ и $II_4/$,

-15-

ка /10/ между ними равна $1/2$ ширины зуба /8/, равной в свою очередь $1/2 \tau$.

5. Двигатель по любому из пунктов 1,2, отличающийся тем, что он имеет три секции $/II_1, II_2, II_3/$, являющиеся его фазами, причем ширина немагнитного участка /10/ между ними равна ширине зуба /8/, равной в свою очередь $1/3 \tau$.

10 6. Двигатель по любому из пунктов 1,2, отличающийся тем, что он имеет четыре секции $/II_1, II_2, II_3$ и $II_4/$, являющиеся его фазами и образующие две пары $/II_1, II_2$ и $II_3, II_4/$, причем ширина немагнитного участка /10/ между этими парами равна удвоенной ширине зуба /8/, а ширина немагнитного участка /10/ между секциями $/II_1$ и II_2 , а также II_3 и $II_4/$ каждой пары равна ширине зуба /8/.

15 равной в свою очередь $1/4 \tau$.

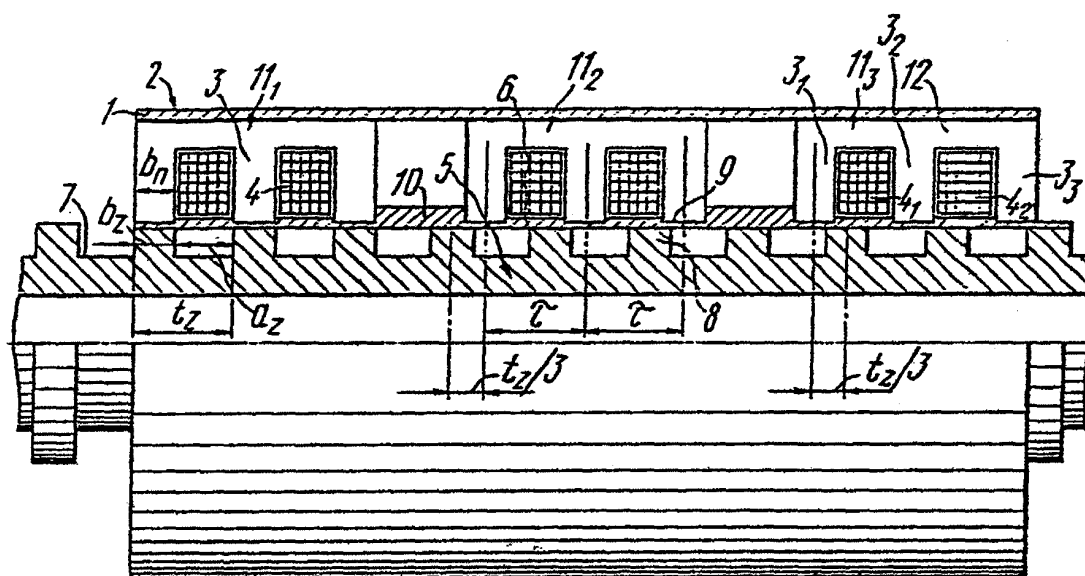
$$\frac{1}{6}$$


FIG. 1

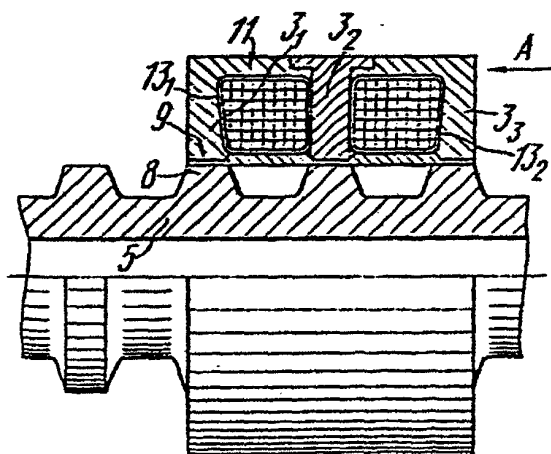


FIG. 2a

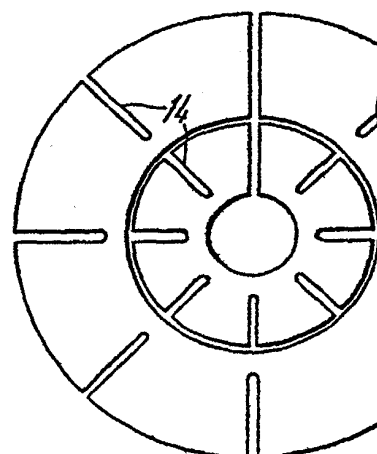


FIG 2b

2 / 6

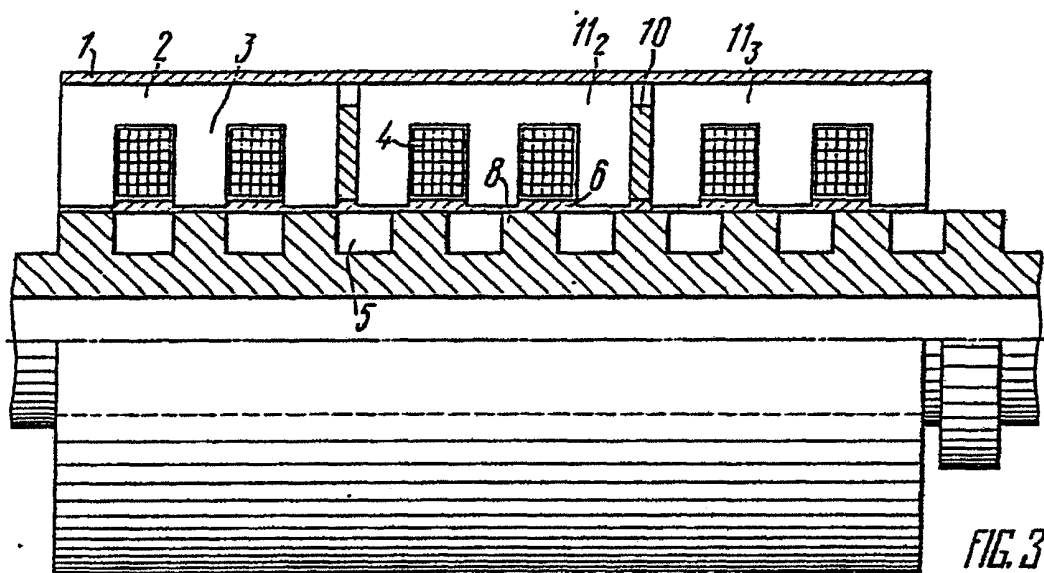


FIG. 3

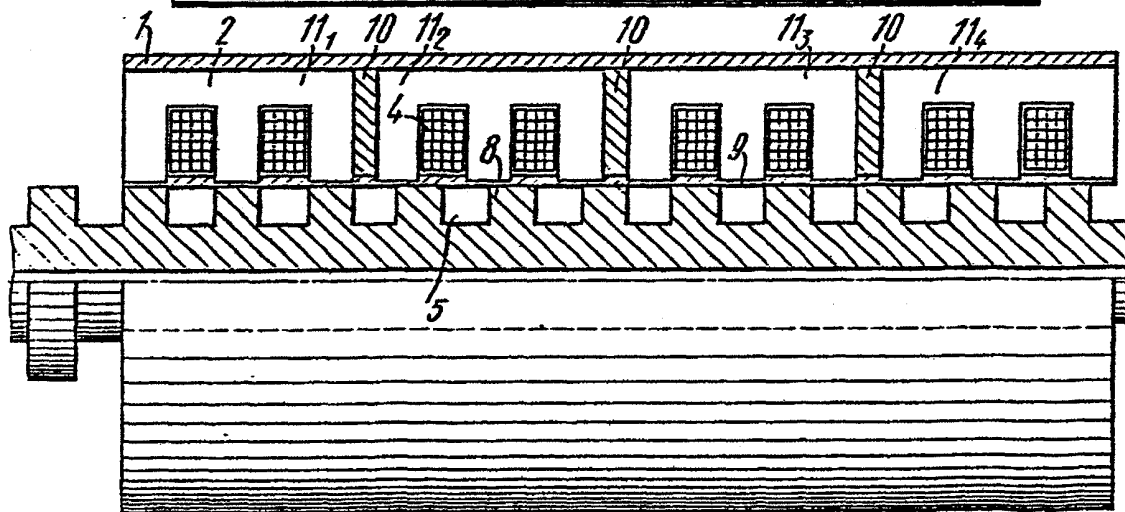
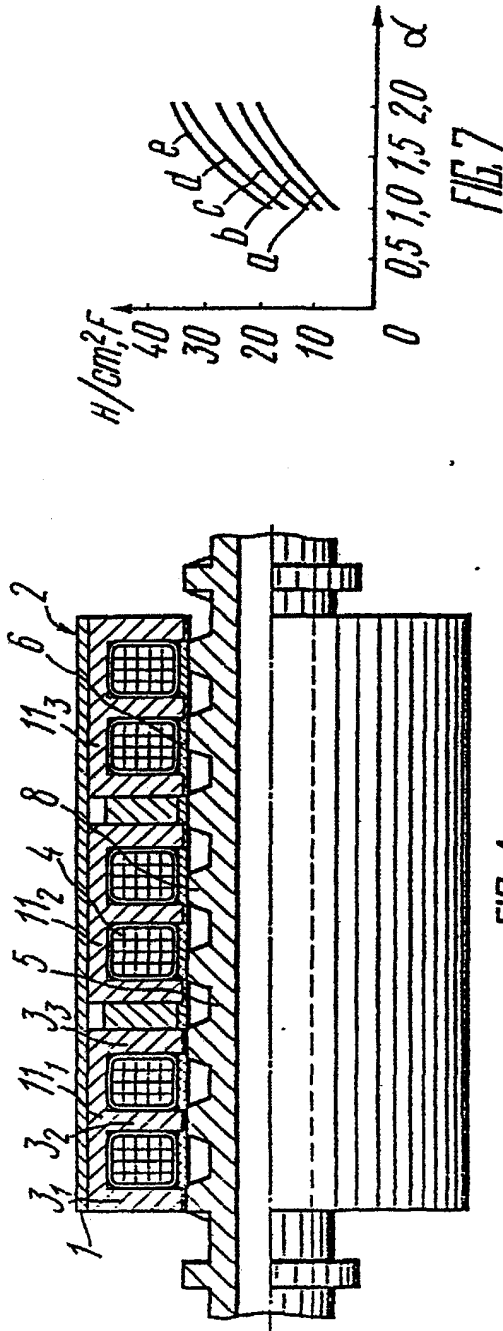
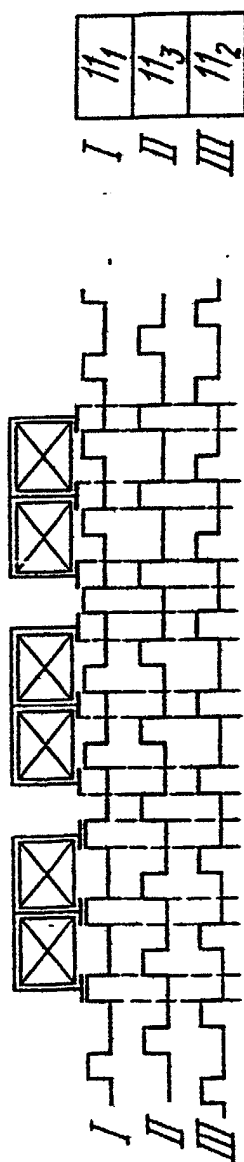


FIG. 5

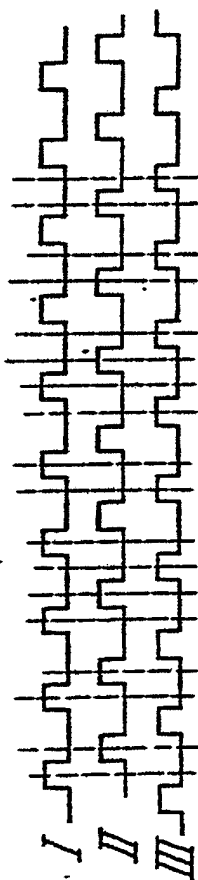
3/6



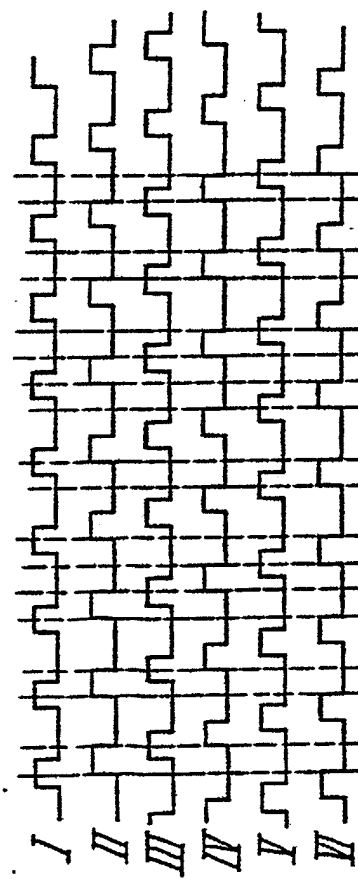
4 / 6



I	11 ₁
II	11 ₃
III	11 ₂



I	11 ₁ , 11 ₂
II	11 ₁ , 11 ₃
III	11 ₃ , 11 ₂



I	11 ₁ , 11 ₂
II	11 ₁
III	11 ₁ , 11 ₃
IV	11 ₃
V	11 ₃ , 11 ₂
VI	11 ₂

5 / 6

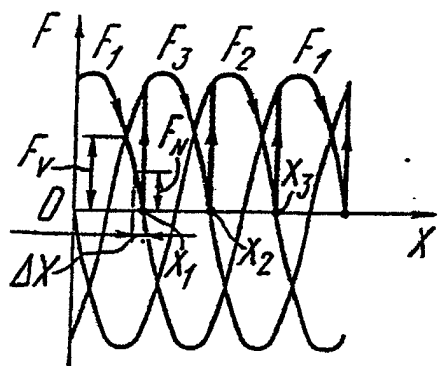


FIG. 9a

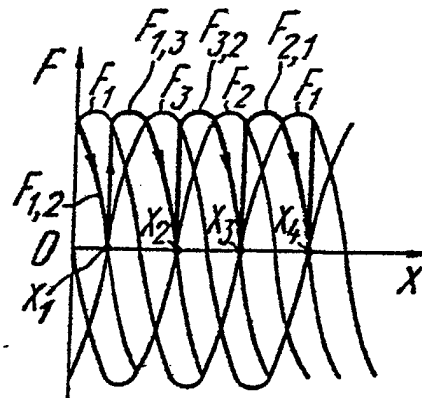


FIG. 9b

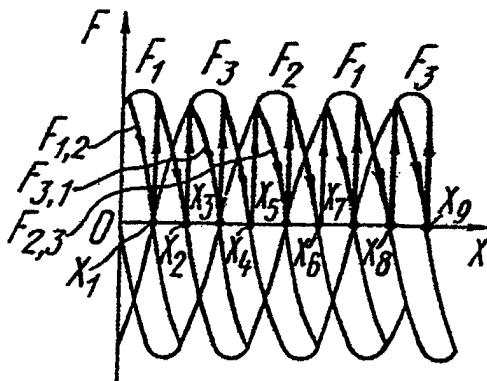


FIG. 9c

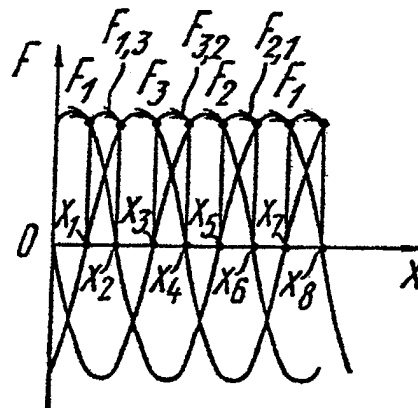


FIG. 9d

6 / 6

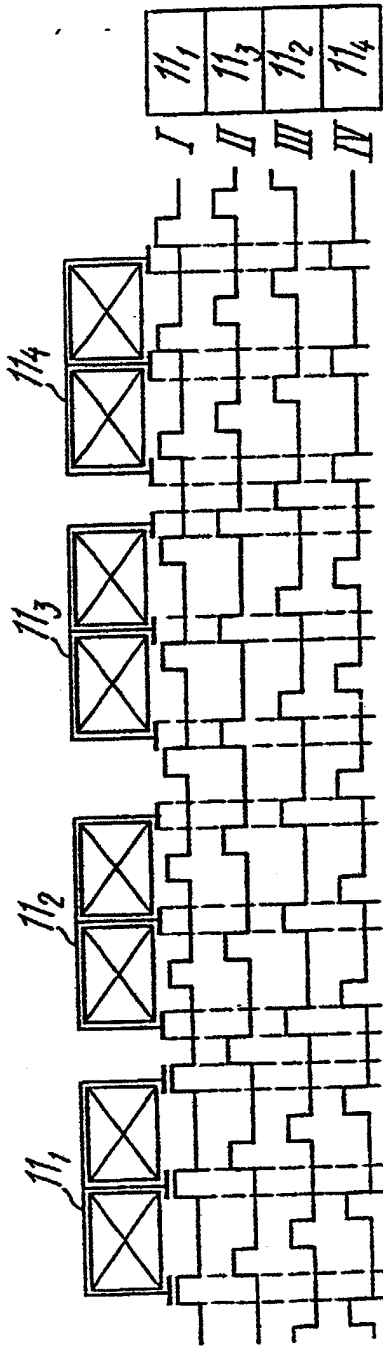


FIG. 10a

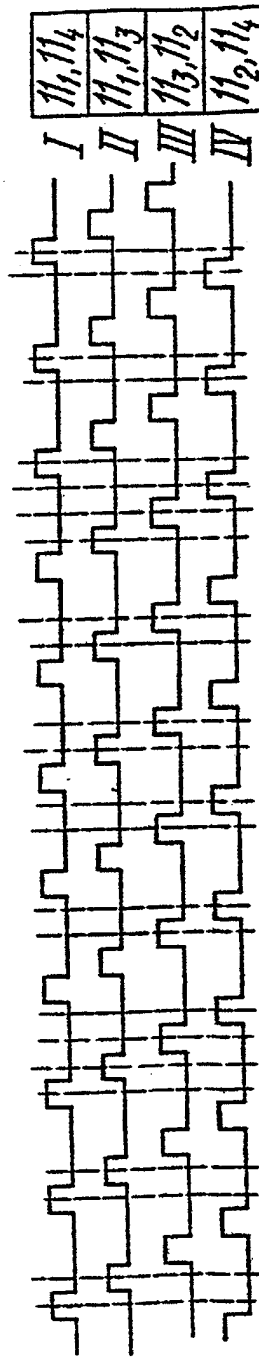


FIG. 10b

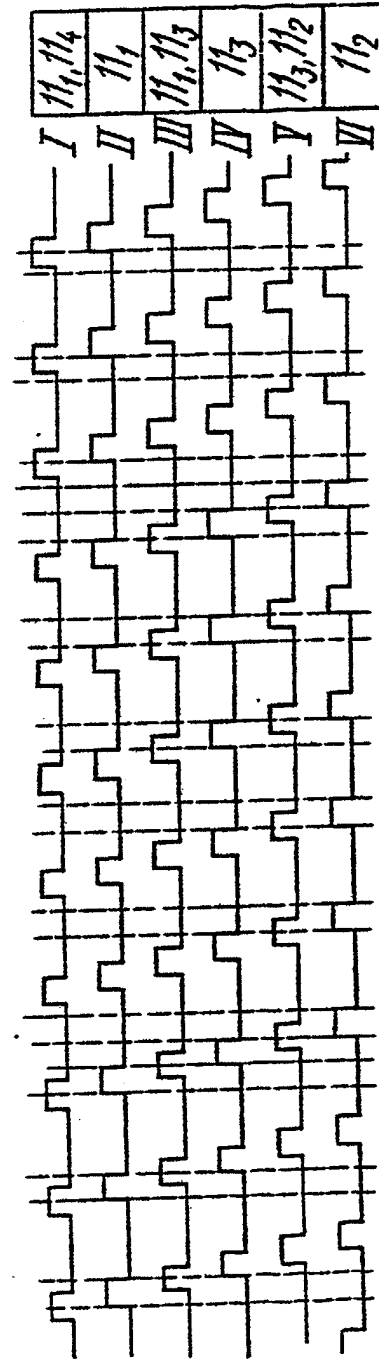


FIG. 10c

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/SU81/00011

I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (if several classification symbols apply, indicate all) ² According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC <div style="text-align: center; font-weight: bold;">H 02 K 41/02 ; H 02 K 37/00</div>											
II. FIELDS SEARCHED <div style="text-align: center; font-size: small;">Minimum Documentation Searched ⁴</div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 20%; text-align: left; padding: 5px;">Classification System</th> <th style="text-align: left; padding: 5px;">Classification Symbols</th> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">IPC</td> <td style="padding: 5px;">H 02 k 37/00, 41/02</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">IPC²</td> <td style="padding: 5px;">H 02 K 37/00, 41/02</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">German</td> <td style="padding: 5px;">21 d' 23.21 d' 19.21 g³</td> </tr> </table> <div style="text-align: center; font-size: small; margin-top: 5px;">Documentation Searched other than Minimum Documentation to the Extent that such Documents are included in the Fields Searched ⁵</div>			Classification System	Classification Symbols	IPC	H 02 k 37/00, 41/02	IPC ²	H 02 K 37/00, 41/02	German	21 d' 23.21 d' 19.21 g ³	
Classification System	Classification Symbols										
IPC	H 02 k 37/00, 41/02										
IPC ²	H 02 K 37/00, 41/02										
German	21 d' 23.21 d' 19.21 g ³										
III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT ¹⁴ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%; text-align: left; padding: 5px;">Category ¹⁵</th> <th style="text-align: left; padding: 5px;">Citation of Document, ¹⁶ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹⁷</th> <th style="width: 15%; text-align: left; padding: 5px;">Relevant to Claim No. ¹⁸</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top; padding: 5px;">A</td> <td style="padding: 5px;">SU, A, 155217, published in December 1963, Yu. E. Rabkin et al</td> <td style="vertical-align: top; padding: 5px;">1-6</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top; padding: 5px;">A</td> <td style="padding: 5px;">DE, C2, 1286638, published on 4 September 1969, figure 1, Siemens A.G.</td> <td style="vertical-align: top; padding: 5px;">1-6</td> </tr> </table>			Category ¹⁵	Citation of Document, ¹⁶ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹⁷	Relevant to Claim No. ¹⁸	A	SU, A, 155217, published in December 1963, Yu. E. Rabkin et al	1-6	A	DE, C2, 1286638, published on 4 September 1969, figure 1, Siemens A.G.	1-6
Category ¹⁵	Citation of Document, ¹⁶ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹⁷	Relevant to Claim No. ¹⁸									
A	SU, A, 155217, published in December 1963, Yu. E. Rabkin et al	1-6									
A	DE, C2, 1286638, published on 4 September 1969, figure 1, Siemens A.G.	1-6									
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>[*] Special categories of cited documents: ¹⁹</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"&" document member of the same patent family</p> </div> </div>											
IV. CERTIFICATION <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> Date of the Actual Completion of the International Search ² <div style="text-align: center; font-weight: bold;">16 September 1981 (16.09.81)</div> </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> Date of Mailing of this International Search Report ² <div style="text-align: center; font-weight: bold;">21 October 1981 (21.10.81)</div> </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"> International Searching Authority ¹ RUSSIAN STATE COMMITTEE FOR INVENTIONS </td> <td style="padding: 5px;"> Signature of Authorized Officer ¹⁰ </td> </tr> </table>			Date of the Actual Completion of the International Search ² <div style="text-align: center; font-weight: bold;">16 September 1981 (16.09.81)</div>	Date of Mailing of this International Search Report ² <div style="text-align: center; font-weight: bold;">21 October 1981 (21.10.81)</div>	International Searching Authority ¹ RUSSIAN STATE COMMITTEE FOR INVENTIONS	Signature of Authorized Officer ¹⁰					
Date of the Actual Completion of the International Search ² <div style="text-align: center; font-weight: bold;">16 September 1981 (16.09.81)</div>	Date of Mailing of this International Search Report ² <div style="text-align: center; font-weight: bold;">21 October 1981 (21.10.81)</div>										
International Searching Authority ¹ RUSSIAN STATE COMMITTEE FOR INVENTIONS	Signature of Authorized Officer ¹⁰										

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM THE SECOND SHEET

US	310-10-14, 49
GB	35A.H 2 A
FR	Gr XII C1 5
CH	110 B
AU	02.8

V. ☐ OBSERVATIONS WHERE CERTAIN CLAIMS WERE FOUND UNSEARCHABLE ¹⁰

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2) (a) for the following reasons:

1. ☐ Claim numbers _____, because they relate to subject matter ¹² not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claim numbers _____, because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out ¹³, specifically:

VI. ☐ OBSERVATIONS WHERE UNITY OF INVENTION IS LACKING ¹¹

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims of the international application.

2. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims of the international application for which fees were paid, specifically claims:

3. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claim numbers:

4. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, the International Searching Authority did not invite payment of any additional fee.

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by applicant's protest.
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка № PCT/SU81/00011

I. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТА ИЗОБРЕТЕНИЯ (если применяются несколько классификационных индексов, укажите все)³

В соответствии с Международной классификацией изобретений (МКИ) или как в соответствии с национальной классификацией, так и с МКИ

H02K 41/02; H02K 37/00

II. ОБЛАСТИ ПОИСКА

Минимум документации, охваченной поиском⁴

Система
классификации

Классификационные рубрики

МКИ²
МКИ²
немецкая

H02K 37/00, 41/02
H02K 37/00, 41/02
21d'23; 21d'19, 21g 3

Документация, охваченная поиском и не входившая в минимум документации, в той мере, насколько она входит в область поиска⁵

III. ДОКУМЕНТЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ПРЕДМЕТУ ПОИСКА¹⁴

Категория*	Ссылка на документ ¹⁶ , с указанием, где необходимо, частей, относящихся к предмету поиска ¹⁷	Относится к пункту формулы №18
A	SU, A, I552I7, опубликован декабрь 1963, Ю.Б. Рабкин и другие	I-6
A	DE, C2, I286638, опубликован 4 сентября 1969, фигура I, Siemens A G.	I-6

* Особые категории ссылочных документов¹⁵:

- „А“ документ, определяющий общий уровень техники.
- „Е“ более ранний патентный документ, но опубликованный на дату международной подачи или после нее.
- „L“ документ, ссылка на который делается по особым причинам, отличным от упомянутых в других категориях.
- „О“ документ, относящийся к устному раскрытию, применению, выставке и т. д.

- „Р“ документ, опубликованный до даты международной подачи, но на дату испрашиваемого приоритета или после нее.
- „Т“ более поздний документ, опубликованный на или после даты международной подачи или даты приоритета и не порочащий заявку, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение.
- „Х“ документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска.

IV. УДОСТОВЕРЕНИЕ ОТЧЕТА

Дата действительного завершения международного поиска² 16 сентября 1981 (16.09.81) | Дата отправки настоящего отчета о международном поиске² 21 октября 1981 (21.10.81)

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТЕКСТА, НЕ ПОМЕСТИВШЕГОСЯ НА ВТОРОМ ЛИСТЕ

US	310-10:14, 49
GB	35A; H2A
FR	Gr XII C1 5
CH	II0в
AU	02.8

V. ☐ ЗАМЕЧАНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ ВЫЯВЛЕННЫХ ПУНКТОВ ФОРМУЛЫ, НЕ ПОДЛЕЖАЩИХ ПОИСКУ¹⁰

Настоящий отчет о международном поиске не охватывает некоторых пунктов формулы в соответствии со статьей 17(2)(a) по следующим причинам:

1. ☐ Пункты формулы №№ _____, т. к. они относятся к объектам, по которым настоящий Орган не проводит поиск.

2. ☐ Пункты формулы №№ _____, т. к. они относятся к частям международной заявки, настолько не соответствующим предписанным требованиям, что по ним нельзя провести полноценный поиск, а именно:

VI. ☐ ЗАМЕЧАНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ ОТСУТСТВИЯ ЕДИНСТВА ИЗОБРЕТЕНИЯ¹¹

В настоящей международной заявке Международный поисковый орган выявил несколько изобретений:

1. ☐ Т. к. все необходимые дополнительные пошлины (тарифы) были уплачены своевременно, настоящий отчет о международном поиске охватывает все пункты формулы изобретения, по которым можно провести поиск.

2. ☐ Т. к. не все необходимые дополнительные пошлины (тарифы) были уплачены своевременно, настоящий отчет о международном поиске охватывает лишь те пункты формулы изобретения, за которые были уплачены пошлины (тарифы), а именно:

3. ☐ Необходимые дополнительные пошлины (тарифы) не были уплачены своевременно. Следовательно, настоящий отчет о международном поиске ограничивается изобретением, упомянутым первым в формуле изобретения: оно охвачено пунктами:

Замечания по возражению